

водопользования предприятиям по производству сыров целесообразно внедрять технологии повторного использования пермеата, что существенно позволяет снизить потребление свежей воды (до 18 %), при этом пространственно-временной анализ водопользования указывает на формирование на этих предприятиях отрицательного водного баланса за счет формирования дополнительных потоков (пермеат, вторичный пар), поступление которых в сети канализации предприятия приводит к увеличению объема водоотведения по отношению к водопотреблению.

### Литература

1. Михайленко, И. Г. Мембранные технологии и переработка молочной сыворотки. – Режим доступа: [http://www.vniitti.ru/conf/conf2016/article/MikhaylenkoI.G.\\_BudrikV.G.\\_statya.pdf?ysclid=ltu5gahhu286233320](http://www.vniitti.ru/conf/conf2016/article/MikhaylenkoI.G._BudrikV.G._statya.pdf?ysclid=ltu5gahhu286233320).
2. Dairy processing handbook. – Режим доступа: <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/ru/chapter/pererabotka-syvorotki>. = Загл. с экрана
3. ИТС 45-2017. Производство напитков, молока и молочной продукции. Введ. 29.11.2017. - М.: Росстандарт, 2017. – 190 с.

УДК 629.12

### **Полирядный насос с биомиметическими поверхностями проточной части для судового водоснабжения**

Комолов М. Б.<sup>1</sup>, Ляпин В. Ю.<sup>2</sup>, Дружинин А. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Научно-производственное объединение гидравлических машин»,

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Москва, Российская Федерация

*Разработан насос для судового водоснабжения путём замены штатных центробежных рабочих органов (РО) на созданные полирядные РО. Результатом их применения явился рост КПД насоса на  $\Delta\eta = 14\%$ . Спроектированы варианты созданного полирядного насоса с модернизацией проточной части (ПЧ) биомиметическими поверхностями различных видов. В результате данной модернизации максимальное предполагаемое дополнительное повышение КПД составило  $\Delta\eta = 3,5\%$  для вида поверхности ПЧ с имитацией кожи акулы.*

Идея создания полирядных насосов (ПН) была предложена профессором Г. М. Моргуновым. ПН ранее рассматривался в ряде публикаций, предназначенных для различных отраслей промышленности [1–5].

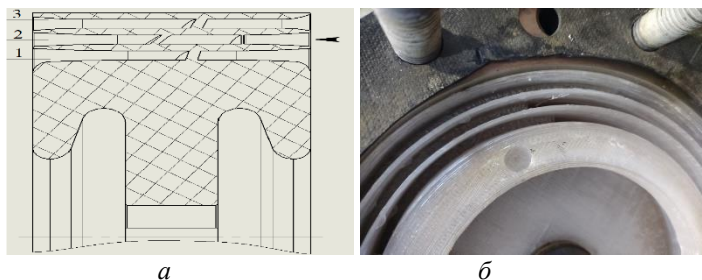


Рис. 1. Созданное полирядное РК:  
*а* – схема (1, 2, 3 – ряды: втулочный, средний, периферийный);  
*б* – колесо в насосе

В данном случае, для судостроения полирядные РО реализовывались в виде рабочего колеса (РК), имеющего три осевые лопастные системы (ЛС), компактно расположенные на коаксиальных рядах, разделённых дисками (рис. 1, *а*). Подача воды данного РК производилась в одну сторону с напором втулочного ряда.

Проектирование, моделирование и оптимизация работы полирядного РК производились с применением ANSYS CFX. Разработанное РК изготавливалось с применением 3D-аддитивных технологий (рис. 1, *б*). Его испытания проводились в составе серийного насоса для судового водоснабжения с заменой штатных центробежных РО.

При испытаниях ПН получено соответствие показателей целевому рабочему диапазону по подаче и напору. Выявлен рост КПД на  $\Delta\eta = 14\%$  по сравнению с данными центробежной конструкции насоса.

По результатам испытаний показатели ПН с созданным РК приняты за базовый уровень для сравнения с данными вариантов насоса с модернизированной ПЧ.

Общемировые и отечественные исследования показали, что использование принципов биомиметики – копирования и «переноса положительных эволюционных признаков живых организмов на объекты технических систем, приводит к повышению их эффективности. Так, применение «наростов» на лопастной системе насосов, выполненных по подобию строения плавника Горбатого кита в качестве управляющих поверхностей, позволяет снижать интенсивность крупных обратных вихрей на более мелкие, что приводит к энергосберегающему эффекту (рис. 2).

Данное техническое решение было запатентовано для центробежных и осевых насосов.

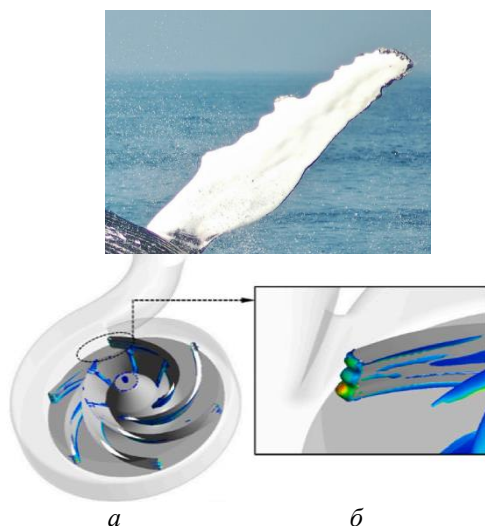


Рис. 2. Наросты плавника горбатого кита:  
*а* – в природе; *б* – в техническом решении

Применение аналогичных наростов рассматривалось также и для применения в ПН. При моделировании работы в ANSYS CFX на входную кромку лопасти добавлялись наросты и проводились сравнения с РК без модификаций. Результаты показали, что наросты улучшают энергетические показатели в режимах работы, находящихся за пределами оптимальной зоны эксплуатации, расширяя таким образом зону эффективной работы. В качестве одного из основных эффектов, приводящих к изменению гидравлических потерь, отмечено создание контролируемого вихря (рис. 3) при обтекании наростов.

Размеры и периодичность наростов варьировалась. Однако, все они показали снижение пульсаций давления и потерь энергии. Использование наростов в качестве управляющих поверхностей позволяет снижать интенсивность крупных обратных вихрей на более мелкие, что приводит к энергосберегающему эффекту.

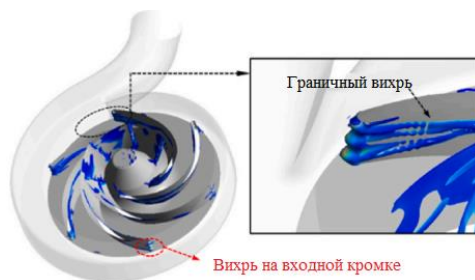


Рис. 3. Вихреобразование в центробежном колесе с биомиметическими наростами

В связи с актуальностью данного направления, следует отметить, что расширение диапазона работы насосных агрегатов, а также влиянием на виброакустические показатели, является приоритетной задачей множества отраслей промышленности, в том числе и в области создания ПН для судового водоснабжения.

Ещё одним апробированным эффектом биомимикрии, оказывающим положительный эффект в ПН является имитация поверхности элементов проточной части по подобию строения кожи акул [6].

Чешуя акул имеет плоские элементы (рис. 4), которые в разной степени перекрывают друг друга и покрыты острыми V-образными гребнями и округлыми U-образными впадинами между ними. Такое строение способствует более интенсивному вихреобразованию на теле акулы при движении в жидкой среде и вызывает эффект «жидкого подшипника качения».



Рис. 4. Строение мелкочешуйчатой кожи акулы вида *Sphyrna tiburo*, масштаб – 50 мкм:

*drm* – кожа, *psc* – чешуйка плакоида

Для анализа механизма модификации поверхности акульей кожей определялось влияние биомиметической микроструктуры на смачиваемость поверхности путём замера угла контакта с водой (рис. 5).

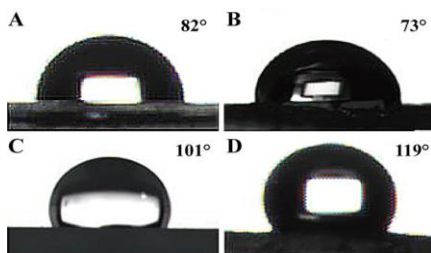


Рис. 5. Сравнение углов смачивания различных поверхностей с водой  
A, C – гладкие поверхности; B, D – микроструктурированные  
по подобию строения акульей кожи

Помимо этого, в этом исследовании был проведен ряд экспериментов по оценке гидравлического сопротивления. Исходя из результатов, был сделан вывод, что биомиметическая поверхность акульей кожи сыграла значительную роль в снижении сопротивления. Максимальная величина снижения сопротивления составила 12,5 % в сравнении с гладкой поверхностью. Снижение сопротивления благоприятно сказалось на потенциальном повышении КПД насоса.

В результате модернизации максимальное предполагаемое дополнительное повышение КПД ПН составило  $\Delta\eta = 3,5$  % для вида поверхности ПЧ РК с имитацией кожи акулы. Данный вариант полирядного РК изготавливается для проведения очередных работ по улучшению характеристик исследуемого насоса для судового водоснабжения. Окончательные выводы о целесообразности модернизации ПЧ РО насоса биомиметическими поверхностями можно будет сделать после проведения натурного эксперимента.

Материалы, вошедшие в данный доклад, подготовлены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Национального проекта «Наука и университеты» о создании новых лабораторий, в том числе под руководством молодых перспективных исследователей – Уникальный номер проекта FSWF-2022-0008. Соглашение №075-03-2022-138/5 от 02.11.2022.

## Литература

1. Моргунов, Г. М. Лопастные машины для жидкостей и газов с повышенной плотностью полезно используемой энергии / Г. М. Моргунов // Вестник МЭИ. – 2007. – № 4. – С. 5–13.

2. Рябцев, Е. А. Создание и исследование полирядного конденсатного насоса первого подъёма с мультипланными рабочими органами: дис. на соиск. уч. степ. к.т.н. : 05.04.13 / Е. А. Рябцев // ФГБОУВО «Национальный исследовательский университет МЭИ». – Москва, 2018. – 202 с.

3. Комолов, М. Б. К созданию полирядного насоса для энергосберегающих погружных нефтедобывающих установок / М. Б. Комолов, Г. М. Моргунов // Территория Нефтегаз. – 2016. – № 3. – С. 102–110.

4. Комолов, М. Б. Компьютерное обоснование параметров полирядного насоса для нефтедобывающих УЭЛН с высокой энергоэффективностью / М. Б. Комолов // Машиностроение и инженерное образование. – 2017. – № 3. – С. 2–7.

5. Комолов, М. Б. Апробация полирядных рабочих органов тройной схемы параллельного течения для корабельных лопастных насосов. Метод проектирования. / М. Б. Комолов, В. Ю. Ляпин // Справочник. Инженерный журнал. – 2024. – № 1. – С. 10–15.

6. Aleksander, V. Panferova Effects of nature-inspired methods on the efficiency of the flow part elements of hydraulic machines / V. Aleksander [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. - ISSN 1819-6608. – 2023. – Vol. 18., № 23. – Asian Research Publishing Network (ARPN). – P. 2601–2612.

УДК 628.357

### **Анализ применимости зависимостей по расчету занесения поверхностных водохранилищных водозаборов в результате заилиenia водоемов Беларуси**

Левкевич В. Е.<sup>1</sup>, Кирвель И. И.<sup>2</sup>, Юшкевич Н. В.<sup>1</sup>, Бохан Г. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Поморский университет

Слупск, Польша

*В статье изложены основы оценки влияния перемещаемых вдольбереговых наносов на эксплуатацию поверхностных водохранилищных водозаборов*

Поверхностные водохранилищные водозаборы в Беларуси распространены достаточно широко (рис. 1).